

УДК: 550.383.

А.В. Овчаренко

Институт геофизики Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург

МЕТОДИКА УСКОРЕННОГО ИЗУЧЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ ВЕКОВОГО ХОДА ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЯМАЛА



Ключевые слова: *Пункты векового хода магнитного поля, аномалии, высокие широты, IGRF-2011-2015.*

Предложена и реализована на примере Ямала методика ускоренного изучения локальных аномалий векового хода геомагнитного поля. Традиционные методики предусматривают многократные многолетние измерения по сети магнитных обсерваторий и пунктов повторных измерений. Построение карты при этом растягивается на многие годы. В настоящее время накоплен достаточный материал для экспрессной оценки локальных аномалий векового хода даже по сети однократных измерений. На территорию СССР была издана карта абсолютного модуля магнитной индукции H_T эпохи 1964.0. По спутниковым данным созданы модели геомагнитного поля на эпохи 1900-2015 г. с возможностью экстраполяции до 2025 г. Применение этих информационных источников дает возможность исключить из измерений материковые аномалии векового хода и статические аномалии, вызванные источниками в земной коре. Оценка точности карты локальных аномалий векового хода может выполняться традиционно, путем повторных измерений и вычислений локальных аномалий. По такой ускоренной методике выполнены геомагнитные измерения в арктической зоне Ямала в 10 новых пунктах изучения локальных аномалий векового хода. Пункты надежно закреплены на местности для выполнения повторных наблюдений в будущем, обеспечены спутниковой геодезической привязкой дециметровой точности, составлены фотокроки и электронный каталог измерений. Изучена неоднородность площадного поля на каждом пункте на площадках 50×50 м. Оценена представительность поля для района в радиусе 1-2 км. Результаты измерений сопоставлены с международной спутниковой моделью IGRF11, а также с картой магнитного поля H_T СССР эпохи 1964.0. По обработанным данным выявлена обширная положительная аномалия локального векового хода в районе фактории Усть-Юрибей, которая вероятнее всего отражает современную геодинамическую активность региона. В южном направлении аномалия тяготеет к западной части Уренгойского палеорифта. Дальнейшая детализация и комплексное изучение этой аномалии, в том числе методами GNSS, имеет важное значение для выяснения источников и тенденций геодинамических процессов и их влияния на миграцию углеводородов и промышленную деятельность.

A.V. Ovcharenko

**TECHNIQUE OF THE ACCELERATED STUDY OF LOCAL ANOMALIES OF THE
SECULAR VARIATION OF THE GEOMAGNETIC FIELD OF YAMAL**

Keywords: *Points of the secular variation of a magnetic field, anomaly, high latitudes, IGRF-2011-2015.*

The technique of fast studying of local anomalies of the century course of the geomagnetic field is offered. Traditional techniques provide repeated long-term measurements on a network of magnetic observatories and points of repeated measurements. Map development at the same time lasts for many years. Sufficient material for an express assessment of local anomalies of the century course even on a network of single measurements is saved up. On the territory of the USSR the card of the absolute module of magnetic induction of HT of an era 1964.0 is published. According to satellite data models of the geomagnetic field for eras 1900-2015 with a possibility of extrapolation to 2025 are created. Application of these information sources gives the chance to exclude the continental anomalies of the secular variation and static anomalies caused by sources in crust from measurements. The assessment of accuracy of the card of local anomalies of the secular variation can traditionally be carried out, by repeated measurements and calculations of local anomalies. By such technique geomagnetic measurements in the Arctic zone of Yamal in 10 new points of studying of local anomalies of the secular variation are executed. Points are reliably fixed on the district for performance of repeated supervision in the future, provided with a satellite geodetic binding of decimeter accuracy, the photosketch map and the electronic catalog of measurements are made. Heterogeneity of the vulgar field on each point on platforms of 50x50 m is studied. Presentability of the field for the area in a radius of 1-2 km is estimated. Results of measurements are compared with the international satellite IGRF11 model, and also with the card of a magnetic field of NT USSR, the Epoch 1964.0. According to previously processed data extensive positive anomaly of the local secular variation around a trading station Ust-Yuribey which most likely reflects modern geodynamic activity of the region is revealed. In the southern direction anomaly adjoins to the western part of the Urengoy paleorift. Further specification and complex studying of this anomaly is important for clarification of sources and tendencies of geodynamic processes and their influence on migration of hydrocarbons and mining activity.

Овчаренко Аркадий Васильевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института геофизики Уральского отделения РАН (Екатеринбург). Тел.+79226023091; e-mail: ark-ovcharenko@yandex.ru.

Ovcharenko Arkadiy Vasilievich – PhD, senior scientific researcher at the Institute of Geophysics of the Ural branch of the RAS (Yekaterinburg). Phone: +79226023091; e-mail: ark-ovcharenko@yandex.ru.

Введение

Современные спутниковые модели (IGRF) в настоящее время уже неплохо удовлетворяют потребностям по учету векового хода геомагнитного поля. Тем не менее, эти модели не могут полностью заменить наземные наблюдения. Сформировалось общее мнение о необходимости возобновления режимных наземных наблюдений на пунктах непрерывного наблюдения магнитного поля (МВС) и пунктах повторных наблюдений (Кусонский, 2012; Федорова и др., 2012; Ладынин и др., 2012). Методики выбора пунктов и наблюдений на пунктах повторных измерений хорошо отработаны и регламентируются отечественными и международными инструкциями (Иванов и др., 1980; Гордин и др., 1986; Кусонский, 2012). С учетом этих требований, во время экспедиции «Ямал-Арктика-2012», были организованы новые пункты для многократных измерений геомагнитного поля (табл. 1). Основные измерения модуля магнитной индукции выполнялись квантовым цезиевым абсолютным магнитометром G859 «Geometrix» (G859, 2005). Измерения относительными магнитометрами при изучении векового хода, разумеется, не могут быть использованы.

Таблица 1

Характеристики пунктов изучения векового хода магнитного поля на полуострове ЯМАЛ

Название пункта	Долгота, град.	Широта, град.	Высота над у. м., м	Модуль магнитной индукции, 2012, нТл	Модуль магнитной индукции, карта 1964 нТл (250 м)	Скорость изменения модуля магнитной индукции (2012-1964)/48 нТл/год	IGRF11, 1964-2012	Время и Дата измерения
Архангельск	40.509082703	64.544547765	15.5213	53985.6	52900	22.6	-	11:29:30.60; 1/8/2012
О.Белый	70.09247425952	73.35209223935	7.2931	58463.3	57700	15.9	-582	05:43:23.00; 8/20/12
Салехард	66.589749868	66.522098584	3.70682	57789.6	57020	16.03	-755	17:46:03.20; 8/29/12
Усть-Юрибей	69.482833669	68.900094821	4.158	58672.3	57800	18.17	-664	07:22:17.40; 8/8/12
Харасавей	66.751499539	71.101525249	0.143	57936.6	57200	15.35	-677	02:47:26.80; 11/8/2012
Ф.Сосновая	78.612074236	72.375300252	1.7828	59289.9	58800	10.21	-436	08:04:43.50; 8/16/12
Тамбей	71.822818041	71.461210134	2.449	58472.1	57800	14.00	-577.5	04:36:53.80; 8/20/12
Сеяха	72.546138805	70.171579684	4.748	58694.8	58050	13.43	-580	15:51:44.20; 8/23/12
М.Каменный	73.3618485366	68.6153202803	12.1713	58903.9	58250	13.62	-581.5	21:45:40.90; 8/24/12
Новый Порт	72.8689854082	67.69195583164	3.164	58902.1	58150	15.67	-603	17:11:47.60; 8/27/12
«ВИКИНГ»	73.421981681	68.612573477	-10.03	58906.4	58250	13.68	-580.5	15:53:57.00; 8/25/12

Площадные съемки выполнялись для оценки однородности магнитного поля в пункте ВХ по системе произвольных маршрутов, позволяющих наиболее рационально покрыть измерениями исследуемую область (50×50 м, режим простой съемки с GPS). Для полигонов-площадок использовалась комбинированная система маршрутов: либо спиралевидные маршруты и система прямолинейных маршрутов с секущими. Секущие маршруты выполнялись для получения узловых точек, по которым можно приближенно учесть вариации без дополнительного прибора. В процессе съемки использовался комплект из двух батарей (основная и запасная). Батареи ежедневно заряжались штатным зарядным устройством. Контроль точности съемки выполнялся по повторным точкам, которые возникают в узлах-пересечениях съемочных маршрутов. При ограниченном времени десантирования на пункт, оценка представительности поля ПВХ для региона и оценка его однородности выполнялась при подходе/отходе к пункту с работающим прибором в режиме простой съемки.

Полевые измерения и вычисление аномалий

Магнитовариационные съемки на ПВХ выполнялись магнитометром G859-Geometrix в режимах стационарной станции и режиме простой съемки (с фиксацией координат). При этом датчик устанавливался на немагнитную треногу под углом 90° к силовым линиям. В наиболее сложных условиях десантирования на берег тренога не использовалась, а датчик устанавливался непосредственно на станину переносного рюкзака.

Измерения магнитного склонения выполнялись с помощью геодезической буссоли (точность 0.50), путем измерения азимута от истинного направления на север. Истинное направление определялось с применением GPS-системы внешнего навигатора и фиксировалось на местности профилем пункт-веха. На каждый пункт выполнялась локальная микромагнитная съемка участка 50×50 м для исключения влияния техногенного мусора и оценки однородности геомагнитного поля. Выполнялось фото документирование каждого пункта ВХ. Результативная база данных ПВХ Ямала содержит географические координаты каждого пункта, высоту, значение модуля магнитной индукции (временной ряд и среднее для пункта), карту площадной съемки вокруг каждого пункта, результаты фотодокументирования.

Целевая обработка данных включала операции: перезапись данных из памяти магнитометра в компьютер; устранение сбоев работы магнитометра в моменты прогрева датчика; пересчет данных площадной съемки с нерегулярной произвольной сети на регулярную с квадратной сеткой; построение карты изолиний площадной съемки и графика временного ряда при стационарных измерениях МВС; архивирование данных. Пример измерений по одному из пунктов ВХ показан ниже на рисунке 5.

Поскольку большинство ПВХ были созданы вновь, то для оценки локальной аномалии ВХ и исключения вековых материковых изменений модуля магнитной индукции использовалась карта магнитного поля Нт СССР (Карта, 1979), эпоха 1964.0, а также модели IGRF11 (эпохи 1964, 2012). Локальные аномалии векового хода вычислялись по формуле

$$H_{vx_lok_2012} = ((H_{T2012} - IGRF_{2012}) - (H_{T1964} - IGRF_{1964})) / (2012 - 1964) , \quad (1)$$

где $H_{vx_lok_2012}$ - локальная аномалия векового хода модуля магнитной индукции; H_{T2012} - наблюдения эпохи 2012, $IGRF_{2012(1964)}$ - международная модель нормального поля для модуля магнитной индукции на эпохи обозначенные в нижнем индексе; H_{T1964} - модуль магнитной индукции по карте на эпоху 1964 г.

Результаты и обсуждение

Использование модели IGRF₁₉₆₄ позволяет вычислить по карте Н_{T1964} статические аномалии от источников в земной коре, которые при традиционном подходе с многолетними измерениями исключаются повторными измерениями на одной и той же точке. Фрагмент карты Н_{T1964} на территорию Ямала показан на рис. 1. Выполнена оцифровка этой карты и созданы средства выборки значений поля с этой карты по заданным географическим координатам пунктов.



Рис. 1. Карта модуля магнитной индукции Ямала на эпоху 1964 г. Фрагмент карты (Васильева и др., 1979). Использована вместе с IGRF11 для оценки коровых аномалий и получения локальных вековых изменений. Изолинии в сотнях нТл.

Для приближенного учета нормальных суточных и годовых (невозмущенных) вариаций создана программа по алгоритму (Гордина и др., 1986), позволяющая выполнить расчет суточной и годовой поправки H_{var} по входным данным – местное время из-

мерений, юлианский день с начала года, широта пункта измерений. С учетом такой поправки формула (1) может быть несколько уточнена

$$H_{vx_lok_2012} = (H_{izm,2012} - H_{Var} - (H_{T1964} - IGRF_{1964}) - IGRF_{2012} + err_1 + err_2) / (t_{2012} - t_{1964}). \quad (2)$$

Погрешность результативной карты будет обусловлена погрешностью базовых измерений, которая обусловлена в основном недоучетом суточных вариаций $err_1 = (\pm 10 \text{ нТл})$; погрешностью составления и дигитализации карты модуля магнитной индукции эпохи 1964 г. $err_2 = (\pm 100-200 \text{ нТл})$. С учетом значительного интервала времени со времени составления карты $(t_{2012} - t_{1964})$ равного 48 годам, погрешность вычисления по (2) локальных аномалий векового хода может составить максимум $210/48 = 4,4 \text{ нТл}$. Использование в (2) суточных нормальных (невозмущенных) вариаций позволяет несколько повысить точность результативной карты (рис. 2). Следует отметить, что в процессе измерений непрерывно контролировалось отсутствие магнитных бурь, которое дополнительно проверялось при окончательной обработке по данным ближайших станций *Intermagnet*.



Рис. 2. Карта локальных аномалий векового хода геомагнитного поля Ямала на эпоху 2012. Карта создана с применением GIS-средств Google Earth.

На рис. 3 приведен пример детального картирования магнитного поля вокруг пункта ВХ Усть-Юрибей, такое картирование позволяет избежать случайного разме-

щения пункта в аномальной зоне. Такие микромагнитные съемки выполнены по всем использованным старым и вновь созданным пунктам ВХ. Пункт векового хода (на рис. 3 отмечен звездочкой) выбирается в наименее аномальной части участка.

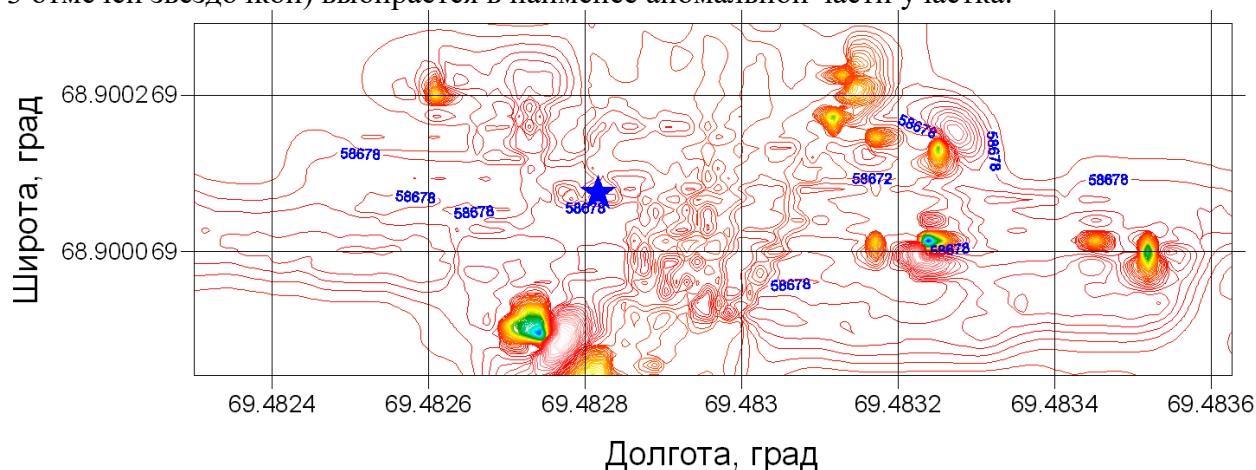


Рис. 3. Карта микромагнитной съемки ПВХ Усть-Юрибей. Отмечаются локальные аномалии, связанные с полигональной вечной мерзлотой.

На рис. 4 представлен пример временного ряда модуля магнитной индукции на ПВХ «Усть-Юрибей». Подобный мониторинг различной длительности был выполнен по всем пунктам ВХ. Длительность мониторинга лимитировалась ограниченным временем десантирования с корабля на берег и составляла от 2 часов до суток и более. Каждый пункт мониторинга закреплялся на местности деревянным колом (0,5-1 м) и квадратной окопкой 1×1 м. Пример закрепления пункта ВХ на местности показан на рис. 5.

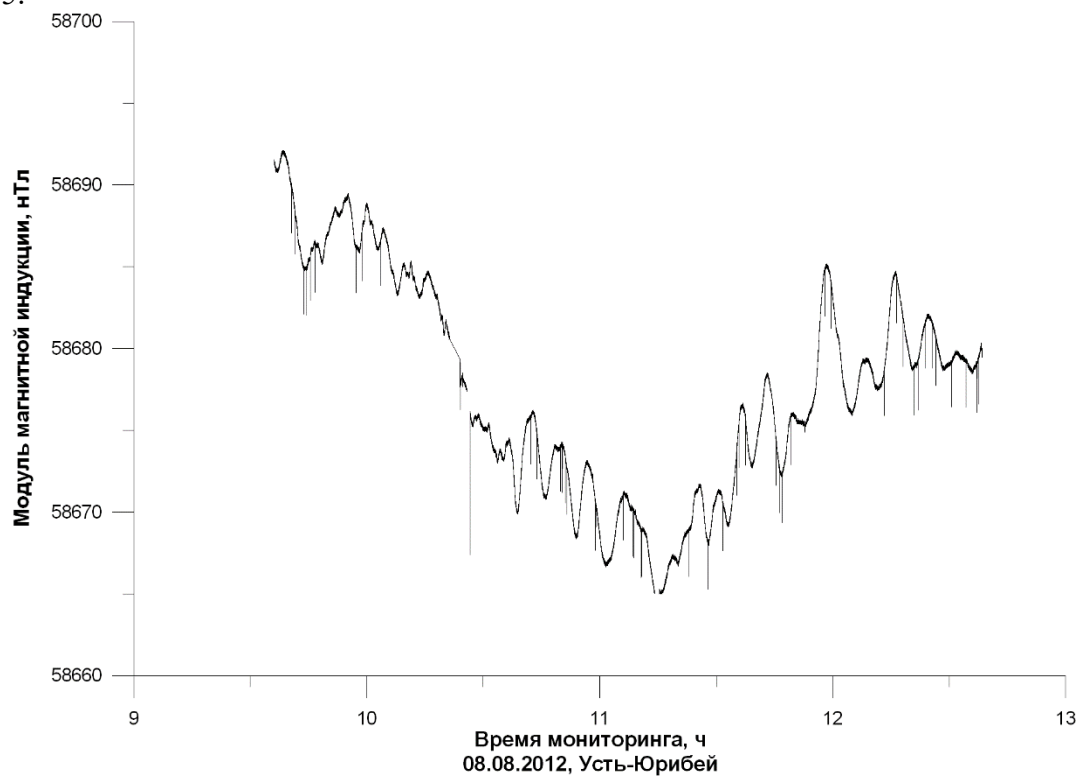


Рис. 4. Вариации модуля магнитной индукции на ПВХ «Усть-Юрибей». Четко проявлена суточная вариация (20 нТл) без магнитных бурь.



Рис. 5. Пункт изучения ВХ – Усть-Юрибей. Вид на СВ. На горизонте за береговым обрывом видна фактория Усть-Юрибей.

Заключение

В ходе экспедиции «Ямал-Арктика-2012» в труднодоступных пунктах были выполнены измерения элементов магнитного поля (модуля магнитной индукции и магнитного склонения) в старых пунктах ВХ и организованы новые пункты изучения ВХ. Для измерений использовался квантовый цезиевый магнитометр G859 «Geomatrix», геодезическая буссоль для измерения магнитного азимута и портативный GPS-навигатор для проложения истинного меридиана. Выполнены повторные измерения на старых пунктах: Архангельск, о. Белый, Салехард (Обдорск). Организованы и закреплены на местности новые пункты «Усть-Юрибей», Харасавей, фактория Сосновая, Тамбей, Сеяха, м. Каменный, Новый Порт (всего 10 пунктов).

Обнаружена субмеридиональная положительная локальная аномалия (до 20 нТл/год) векового хода модуля магнитной индукции в районе Усть-Юрибея, что имеет фундаментальное значение для современной геодинамики Ямала. Данная аномалия имеет, скорее всего, природное происхождение. Наиболее вероятная причина – современные глубинные геодинамические процессы. Именно поэтому аномалия нуждается в детализации и углубленном изучении, в том числе высокоточным GPS/GNSS-мониторингом.

Предложенная методика ускоренного изучения локальных аномалий векового хода геомагнитного поля может применяться на всей территории бывшего СССР. Это имеет особенное значение для труднодоступных территорий с высокой геодинамической активностью и сейсмичностью. Ускоренно выявленные локальные аномалии векового хода МП в дальнейшем необходимо планомерно и комплексно изучать методами спутникового геодинамического мониторинга.

Выражаю благодарность за возможность участия в экспедиции «Ямал-Арктика-2012» правительству ЯНАО, руководству Росгидромета, Научному Совету «Арктика» и В.А. Оношко, а также всем друзьям по экспедиции за помощь в работе.

Работа выполнена в рамках плана Института геофизики / ФАНО. № рег. ГР01201263779.

Список использованной литературы

- Васильева М.А.* Объяснительная записка к карте магнитного поля Нт СССР масштаба 1:2500000. М.: Мингео СССР, ВНИИГеофизика, 1980. 38 с.
- Гордин В.М., Розе Е.Н., Углов Е.Д.* Морская магнитометрия. М.: Недра, 1986. 231 с.
- Иванов Н.А, Нульман А.А., Пьянков В.А., Шапиро В.А.* Возможности современной магнитометрии при поисках и изучении активных разломов на Среднем и Южном Урале // Отчет 0.50.01. «Изучение закономерностей размещения и условий образования глубинных разломов на Урале» (глава III, §1). Свердловск: ИГФ УрО РАН, 1980. 300 с.
- Карта магнитного поля Нт СССР. Эпоха 1964.0. М 1:2500000. Под. ред. М.А. Васильевой. Мингео СССР, ВНИИГеофизика, 1979, лист 6.
- Ладынин А.В., Попова А.А., Семаков Н.Н.* Вековые вариации геомагнитного поля: сравнение спутниковых и наземных данных // Геология и геофизика. 2006. Т. 47. № 2. С. 278-291.
- Ладынин А.В., Попова А.А., Семаков Н.Н.* / Электронный ресурс. http://www.ggd.nsu.ru/geophys/Miniguide/POSOB/Vek_Mag.pdf//
- Кусонский О.А.* Геофизические обсерваторские исследования на Урале. Екатеринбург: УрО РАН, 2012. 280 с.
- Федорова Н.В., Криковцева Т.Г.* Моделирование эффектов подмагничивания литосферы Западного Урала вековой вариацией геомагнитного поля в 2000-2009 гг. // Уральский геофизический вестник. 2012. № 2(20). С. 41-46.
- Яновский Б.М.* Земной магнетизм. Л.: Изд. ЛГУ, 1978. 590 с.
- <http://serv.izmiran.ru/cgi-bin/igrf-11a.py> - Международная модель главного магнитного поля Земли IGRF-11. (Международное геомагнитное аналитическое поле IGRF - это серия математических моделей главного магнитного поля Земли и его вековой вариации на пятилетние интервалы с 1935 по 2010 годы и для продолжения поля 2010 г. на эпоху до 2015 г.)- online servis.
- G-859 MINING MAG Cesium Vapor Magnetometer. Operation Manual. May 2005, P/N 25270-OM, Rev. A, GEOMETRICS, INC. 2190 Fortune Drive, San Jose, CA 95131 USA.

Рецензент статьи: доктор географических наук, профессор В.В. Литовский.